

KAYNAKLI YAPILARDA GEVREK KIRILMAYA KARŞI KIRILMA
TOKLUĞUNUN " COD " YÖNTEMİ İLE SAPTANMASI

Calculation of the Crack Toughness for the Brittle Fracture
of the Welded Structures by Using "COD" Method.

Öğr.Gör.Irfan AY

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mak.Böl. BALIKESİR

ABSTRACT

It has been observed that so many welded structures such as bridges, oil-gas pipelines and liquid tanks, are subjected to failure under the stresses lower than the calculated values according to the classical design methods. Studies in this field have shown that defects in welding, high rate strain, temperature and the stress concentrations generated due to the crack formation that approach yield point cause this failure and, the residual stresses also contribute this phenomenon. New methods have been developed to measure specific strength of the material for the crack propagation due to the defects in the structure. In this paper, the COD parameter, one of the fracture mechanics parameters and its application is described for the brittle fracture of the welded structures.

ÖZET

Köprü, sıvı ve gaz boru hatları, dolun tesisleri vs. gibi pek çok kaynaklı yapı, klasik tasarım yöntemleri ile dizayn edildiğinde hesaplanan gerilmelerin çok altındaki gerilmelerde hasarlar meydana geldiği görülmüştür. Yapılan incelemelerde bu hasarlara, kaynak hatalarının, yüksek deformasyon hızlarının, sıcaklığın ve yapı içerisindeki lokal bölgelerde süreksizlik yaratan yarık ve çatlakların önündeki gerilim yığılmalarının akma noktasına ulaşmasının sebep olduğu kaynaklı yapılarda "artık gerilme" lerin de bu olaya katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir.

Yapıda mevcut hatalardan doğabilecek çatlak ilerlemesine karşı, malzeme direncini kantitatif olarak ölçmek üzere yeni metodlar geliştirilmiştir. Bu tebliğ'de kaynaklı yapıların gevrek kırılmaya karşı tasarımında, kırılma mekanizması parametrelerinden birisi olan COD yöntemi ve uygulaması açıklanmıştır.

1. GİRİŞ

Kaynaklı yapılarda gevrek kırılma, tasarım yükünün çok altındaki gerilme değerlerinde, bazen de görünür hiçbir yükleme yokken malzemenin çatlama ve çok

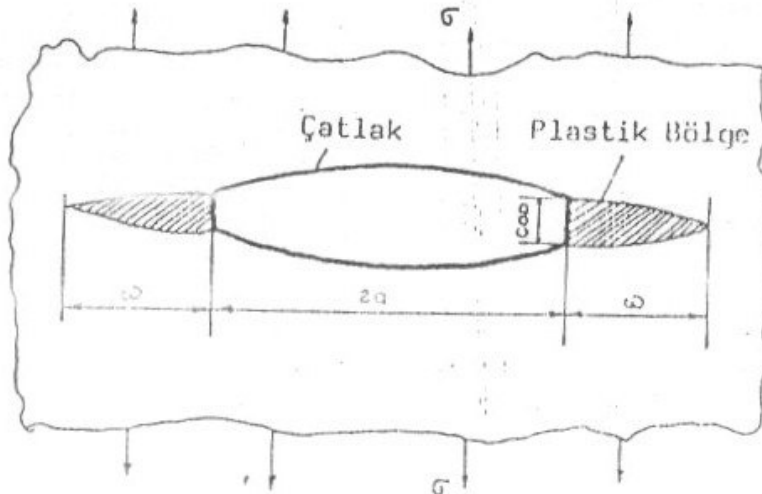
hızlı bir çatlak yayılmasından sonra yapının parçalanmasıdır. Kırılma tokluğu ise, kaynaklı yapının gevrek kırılmaya karşı direncinin bir ifadesidir.

Kaynaklı yapılarda genel olarak gevrek kırılmayı etkileyen faktörler; sıcaklık, üç eksenli mekanik zorlama, deformasyon hızı, hidrojen gevrekliği, sıcak çatlama, artık gerilmeler vs. olarak sıralayabiliriz. Bu faktörler aynı zamanda kırılma tokluğunu da etkiler. Kaynaklı yapılar homojen değildir. Kaynak metali, IEA (ısı etkisi altındaki bölge) ve esas metal bölgeleri, kaynaklı yapının bütünlüğünü bozan süreksizliklerdir. Bu nedenle, kaynaklı bir yapının kırılma tokluğu değerinin yapının tümüne mal edilmeyip, her bir bölge için, ayrı ayrı bulunarak en zayıf bölge tesbiti gereklidir. Kaynak metali bölgesinin kırılma tokluğu değeri, kullanılan elektrod'un bileşiminden, örtü cinsinden, kaynak usulünden, kaynağın yapılış şeklinden, kaynak metali kompozisyonu ile esas metalin kompozisyonunun kaynak esnasındaki sürbülans nedeniyle oluşan yeni bileşik kompozisyondan etkilenirken, IEA bölgesinin kırılma tokluğu değeri, kaynak esnasında oluşan ısıl çevrimden direkt etkilenen mikroyapı ve tane büyüklüğünden etkilenmektedir. Kırılma tokluğu değeri açısından en zayıf bölge olarak bilinir. Esas metal bölgesinin kırılma tokluğu, onun kimyasal kompozisyonu ile direkt ilgilidir (1).

Kırılma tokluğu değerlerinin tesbiti için, başlangıçta kalitatif sonuçlar veren testler geliştirilmiştir. Bu testlerin başlıcaları; Charpy-V testi, Robertson testi, Pellini ağırlık düşürme testi, vs. gibi testlerdir. Bu testlerden amaç, sünem-gevrek dönüşüm sıcaklığını veya aralığını tesbit etmektedir. Yapıyı bu dönüşüm sıcaklığının üzerinde kullanarak gevrek kırılmadan sakınılır. Bu testlerden elde edilen neticeler tasarım da kullanılamaz. Oysa, temeli 1920'lerde Griffith ile atılan ve 1960'larda geliştirilen kırılma mekaniği deneysel yöntemleriyle tasarımda kullanılabilen kantitatif neticeler elde etme gerçekleşmiştir. Bu çalışmada, kırılma mekaniği analitik ifadeli deneysel yöntemlerden birisi olan COD yöntemi tanıtılarak, kaynaklı yapılarda karşılaşılan özel problemler etüt edilmiştir. Geliştirilen tasarım eğrisinin kaynaklı yapılara uygulanabilirliği incelenerek konuya açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

2. COD (Crack Opening Displacement) YÖNTEMİ

Kırılma mekaniğinde, kararsız çatlak yayılmasından önce meydana gelen plastik deformasyon'un çatlak kütleşmesine yol açtığı genişleme miktarı, kırılma tokluğunun bir ölçüsü olarak görülmüştür (2). Şekil 1.

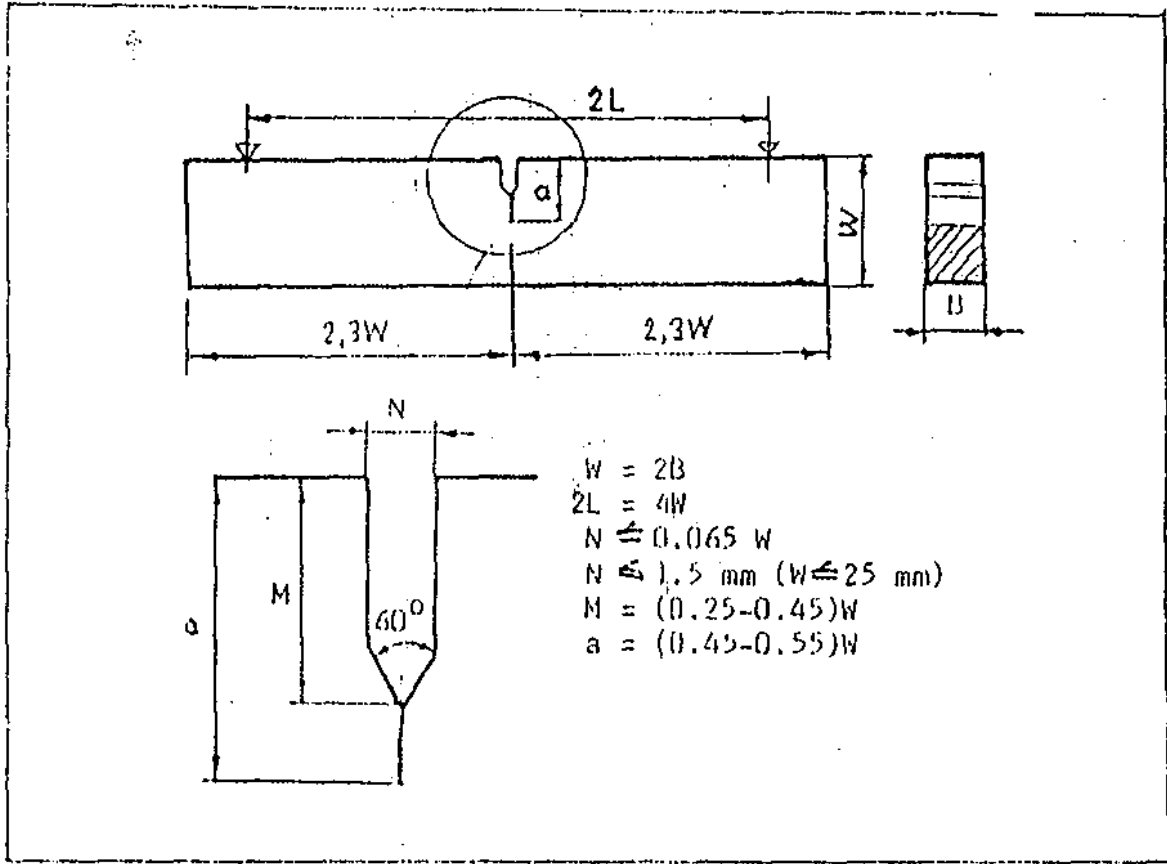


Şekil 1. COD' ın tanımı

Bu yöntem, metalik malzemelerin kırılma tokluğunu ölçmek üzere geliştirilmiştir. Amaç; max.yük'e karşılık gelen, çatlak ucundaki kritik açılma miktarını tayin etmektir. Bu konuda detaylı bilgi BSI - BS5762 1979 İngiliz standard'ında verilmiştir (3). Üzelersek;

Test Numunesi

Üç noktadan eğmeli deney parçası seçilmiştir. Numunenin boyutlandırılmasında kalınlık esas alınmıştır. Test numunesi ve boyutları Şekil (2) de gösterilmiştir. Test işletme sıcaklığında yapılır.



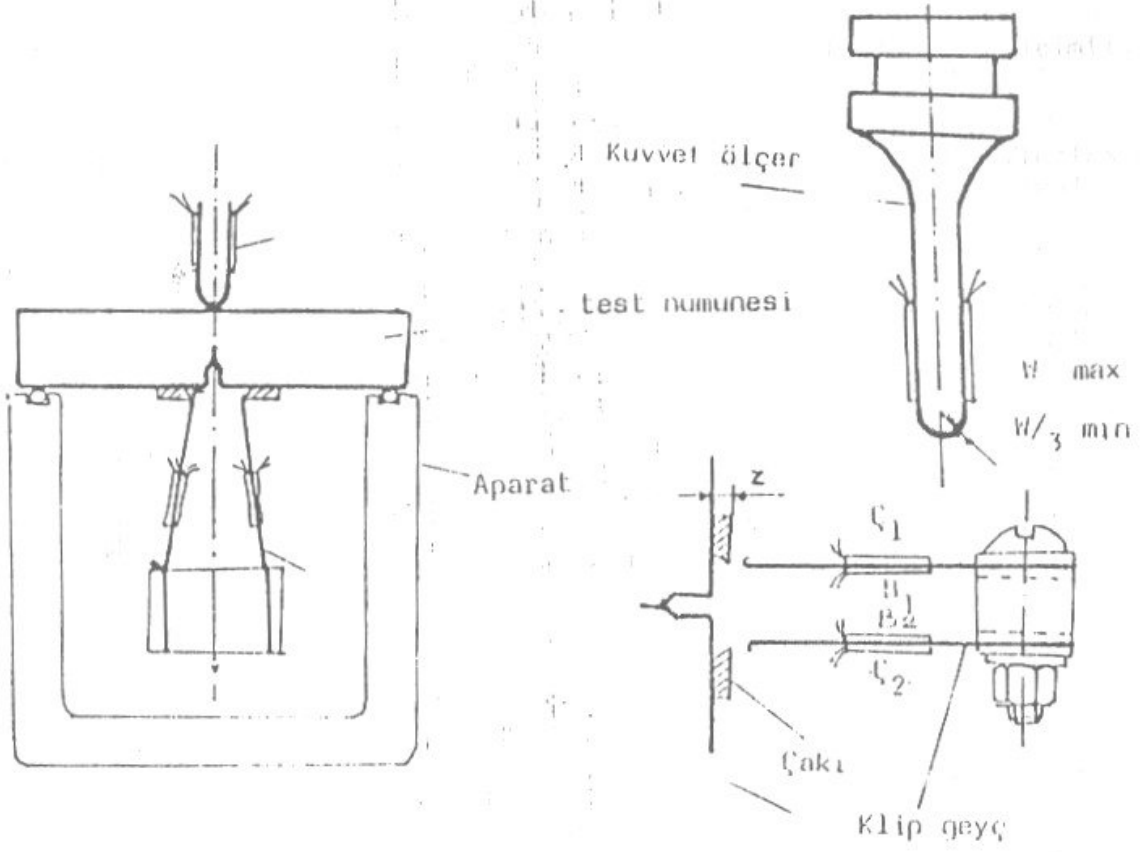
Şekil-2 COD için üç noktadan eğme deney parçası ve boyutları

Test parçası üzerinde önceden açılmış çentik ucunda en keskin tabii çatlak benzer çatlak yaratabilmek için yorulma makinasında yorulma çatlakları açılır. En önemli yorulma çatlak şartı a/W nin 0.45 ile 0.55 arasında olmasıdır.

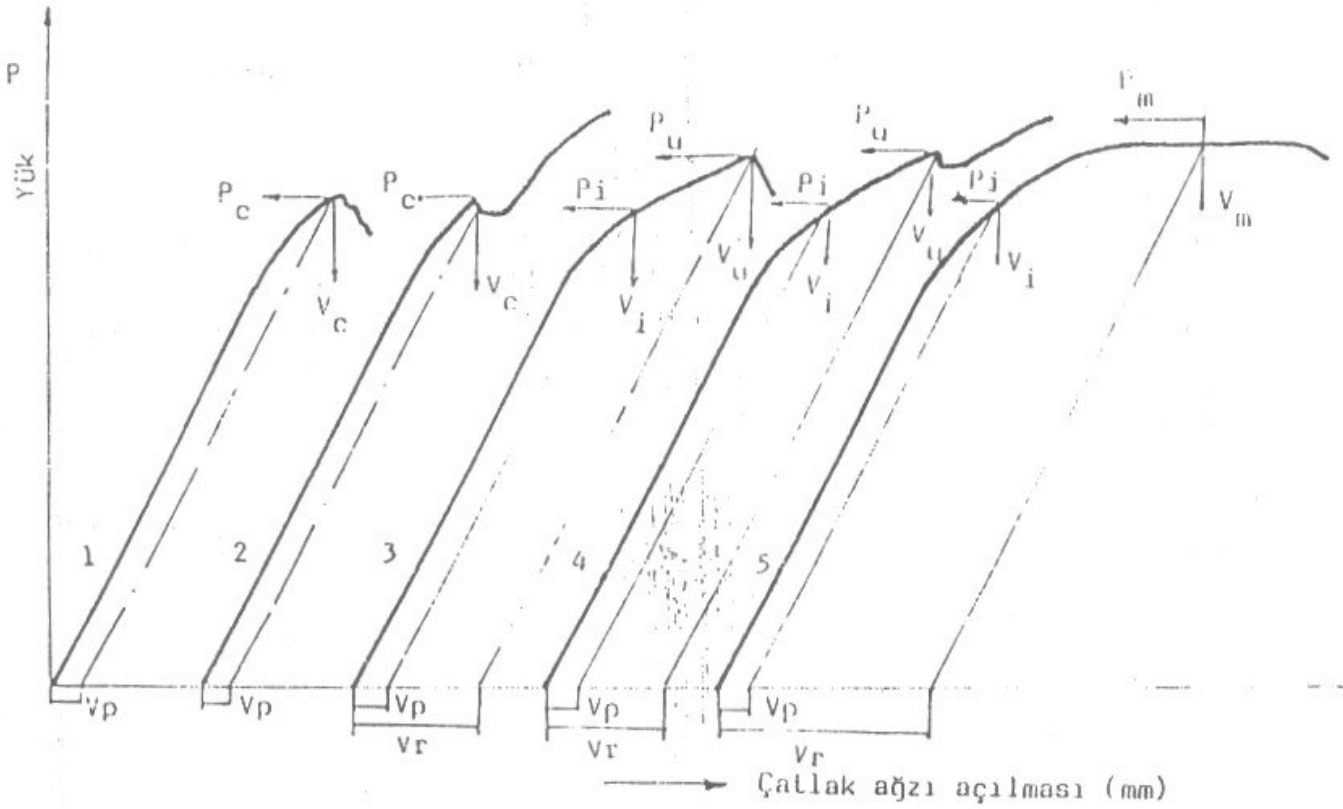
Kuvvet Ölçer, Klip-Geyç, ve COD Deneyi Eğrileri

Üç noktadan eğmeli deney numunesi Şekil 3'te görüldüğü gibi eğmeye çalışılırken, uygulanan (P) yükünü kuvvet ölçer, çakı'lar arasındaki açılma miktarını (v) Klip-geyç ölçer. Kuvvet ölçer ve Klip-geyç strain-gauge'lerle wheatstone köprü devresi kurularak yapılır. P - v eğrisi X-Y yazısına çizdirilir ve kalibrelenir.

Sonuçta elde edilen P - v eğri tiplerine göre kritik yük, yavaş çatlak başlangıç yükleri ve kritik çatlak ucu açılma değerleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil- 3 COD deneyi yapılışı (Kuvvet ölçer, Klip-geyç)



Şekil- 4 COD'un hesabı için P - v eğri tipleri

a/W oranı 0.15 ile 0.70 arasındaki numunelerin kritik COD değerlerinin hesabı için;

$$\delta_c = K^2(1 - \nu^2)/2 \sigma_a E + 0.4 (W-a) V_p / 0.4 W + 0.6a + z$$

I.nci kısım

II.nci kısım

Formülü kullanılır. Bu formüldə I.nci kısım P-v eğrisinin elastik bileşeni, II.nci kısım plastik bileşeni içerir. Formüldə ;

ν : Poisson oranı

σ_a : Deney sıcaklığındaki 0.2 akma gerilmesi

E : Elastiklik modülü

$K = Y P_c / B W^{1/2}$ dir.

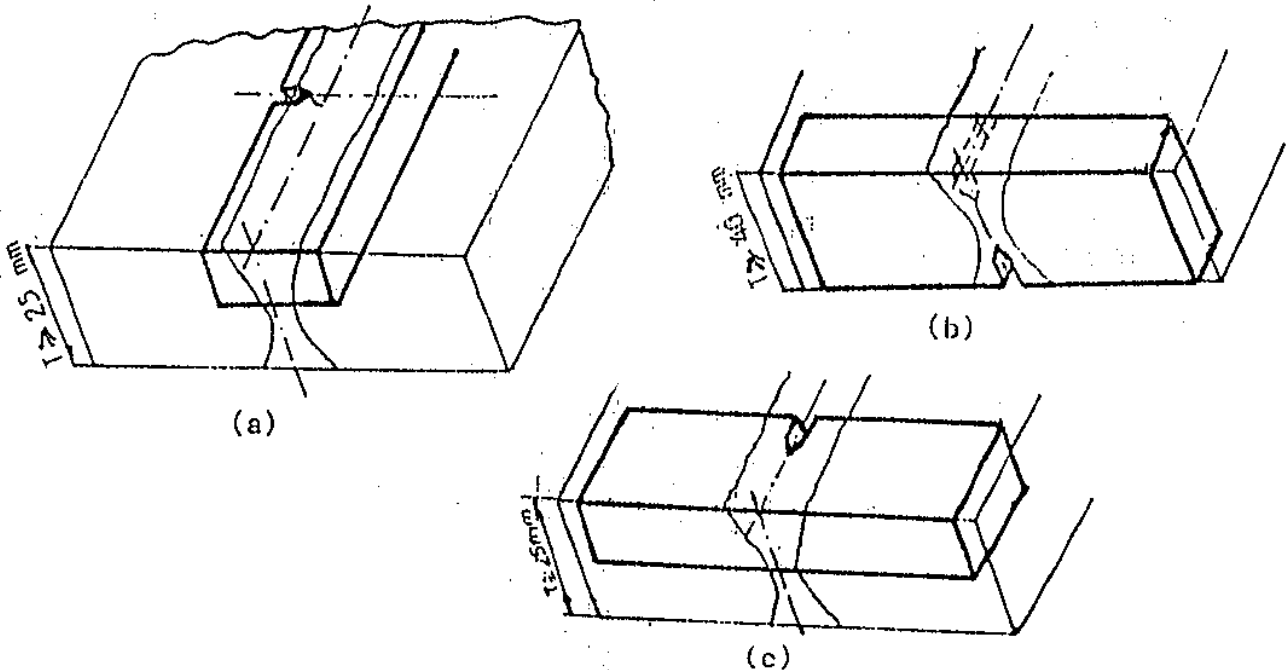
P_c : Kritik yük

Y : Kompliyans katsayısı

(0.15 = a/W = 0.70 değerleri için BSI standart'ındaki tablodan alınır).

3. COD DENEYİNDE KAYNAKLI YAPILARDAKİ ÖZEL PROBLEMLER

3.1 Kaynak metali kırılma tokluğu tayini için heniz bir deney parçası standard'ı geliştirilmemiştir. Bu konudaki çalışmalar Uluslararası Kaynak Çemiyeti tarafından hızla sürdürölmektedir. Teklif edilen üç noktadan eğmeli kaynaklı deney parçaları şekil 5'te görölmektedir.



Şekil- 5 Kaynak metalinin tokluğunun saptanması için teklif edilen üç noktadan eğmeli deney parçaları.

3.2 Kaynaklı deney parçası numunelerine tabii çatlak teşekkülü için yorulma çatlakları açılır. Çatlak açılırken düz bir şekilde gelişmeyebilir. "Artık gerilme"lerin varlığından dolayı çentik merkezinden sapar. Bu zorluğun üstesinden lokal basma teknikleri kullanılarak gelinebilir. IEA bölgesine açılan bir yorulma çatlaklarının ucu, kaynak metali bölgesinde veya esas metal bölgesinde durabilir. Test sonucunda farklı bölgenin kırılma tokluğu değeri elde edileceğinden, yorulma çatlakları yayılmasının çok sıkı kontrolü gerekir.

3.3 Kaynak metali ve çevresinin kompleks yapıda oluşu, dar bölgelerle birbirinden ayrılması, çentik ve çatlak açılma yerinin seçiminde zorluk yaratır. Genel kanı, IEA bölgesinin kaba taneli bölgesini seçmektir. Eğer, kaynak metalinin kırılma tokluğu için seçilen bölge dar ise ilave paso ile dar bölge genişletilebilir. Fakat IEA bölgesi için bu olanaksızdır. Ancak termal saykıl taklidi ile suni bölge yaratılabilir. Taklidi ısı işlem ise ancak küçük tip Charpy-V numuneler için uygundur.

3.4 Kaynaklı yapıların test edilmelerinde geometri problemini IEA bölgesine özel 'K' tipi kaynak ağızı açılarak çözmek mümkündür. Bu tip kaynak ağızı düz kenarlı IEA bölgesini oluşturur. Pratikte bu tip kaynak ağızına pek rastlanmaz. Fakat kırılma tokluğu değeri bu tip birleştirmelerde min. elde edilir. 'X' ve 'V' tipi kaynak ağızı birleştirmelerde çeki gerilmeleri IEA bölgesine 45-60°'lik eğimle geldiklerinden kırılma tokluğu değerleri daha yüksek olur.

4. COD - TASARIM EĞRİSİ

Kırılmaya karşı emniyet tasarımı için, verilen nominal gerilmeye karşı gevrek kırılmayı başlatan kritik hata boyutunu veya verilen hata boyutu için gevrek kırılmayı başlatan kritik gerilmeyi tesbit etmek anlaşılır. Önce kırılmayı karakterize edecek bir parametre gereklidir. Tam gevrek malzemeler için bu parametre $K(\sigma - a)$, düzlem deformasyon gerilim şiddeti faktörü, çatlak ucunda küçük veya büyük miktarda akma meydana gelmesi halinde COD ($\sigma - a$) ve $J(\sigma - a)$ integral parametreleri kullanılır.

COD parametresi esas alındığında; içinde $2a$ uzunluğunda çatlak içeren, nominal gerilmeye maruz kalan düzlem-gerilme çatlakları altındaki SONSUZ LEVHA için analitik COD ifadesi; (1)

$COD = (8 \sigma_e / E) L_n \text{Sec}(\sigma / 2 \sigma_a)$ şeklindedir. Bu ifadenin kritik değeri;

$COD = (8 \sigma_c a / 11 E) L_n \text{Sec}(\sigma_c / 2 \sigma_a)$ olur.

$L_n \text{Sec}$ ifadesi seriye açılarak kısaltılabilir (1).

Uygulamada SONLU GEOMETRİ'ler için sonsuz levha yaklaşımı modeli esas alınarak bu modelin akma şartları etüd edilerek boyutsuz COD (ϕ) ifadesi ile (e/e_c) veya (σ_1 / σ_a) oranı arasındaki ilişkiden doğan tasarım eğrisi ortaya atılmıştır (4).

$\phi = \delta_c / 211 e_a \bar{a}_{max}$ değerindedir. Burada;

\bar{a}_{max} : Yapı içerisinde kalınlık (B) doğrultusunda emniyetle kullanımına müsaade edilen çatlak uzunluğu (Genelleştirilmiş çatlak uzunluğu)dur.

Uygulamada \bar{a}_{max} değerlerinin gerilmeler cinsinden ifadesi aşağıdaki gibi çıkartılmıştır (4).

$$\bar{a}_{\max} = \delta_c E \sigma_a / 2 \sigma_1^2 \quad \sigma_1 / \sigma_a \leq 0.5 \text{ için}$$

$$\bar{a}_{\max} = \delta_c E / 2 (\sigma_1 - 0.25 \sigma_a) \quad \sigma_1 / \sigma_a \geq 0.5 \text{ için}$$

σ_1 : Hata çevresindeki toplam sahte elastik gerilme

σ_1 değeri genel uygulamalar için kaynaklı yapılarda çatlak yeri, kaynak şartlarına göre Tablo 1'de gösterildiği gibi değişik değerler alır.

TABLO 1. Toplam sahte-elastik gerilim değerleri

Çatlak Yeri	Kaynak Şartı	σ_1
Gerilim yığılma noktasından uzakta....	Gerilim giderilmiş.....	σ
	Gerilim giderilmemiş.....	$\sigma + \sigma_a$
Gerilim yığılma noktasının yanında....	Gerilim giderilmiş.....	$k\sigma$
	Gerilim giderilmemiş.....	$k\sigma + \sigma_a$

k : Gerilim yığılma faktörü

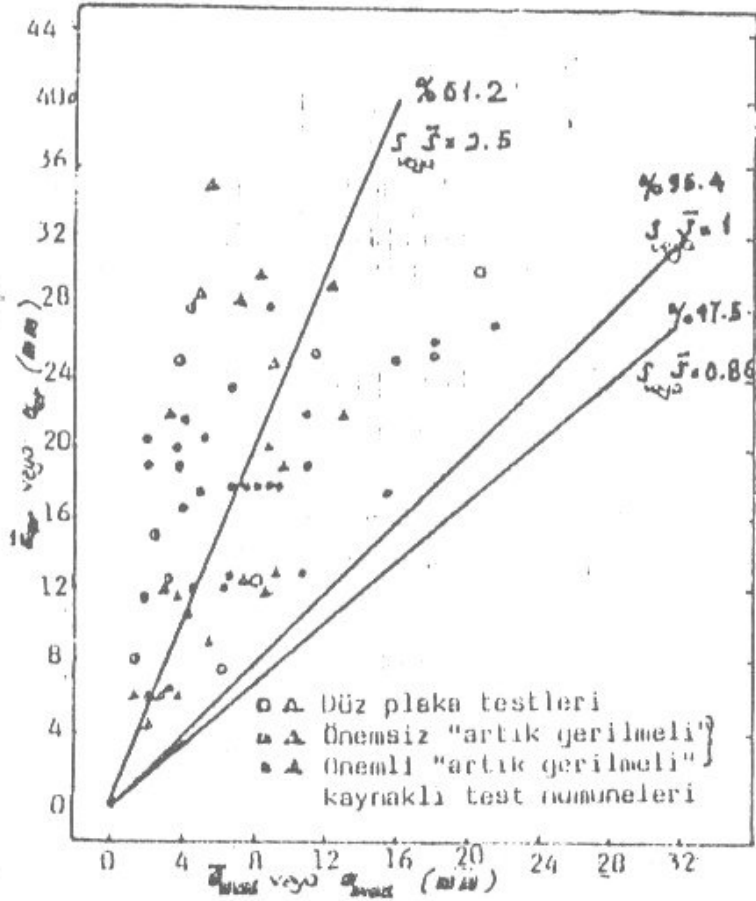
σ_1 gerilmesi çatlak ucunda (σ_a) nın üzerinde olabilirken, yapının geri kalan kısımları hala elastik davranış gösterebilir. Kaynaklı yapılarda (σ_1) "artık gerilme" lerinde nominal gerilmeye ilavesiyle akma gerilmesine ulaşılır.

Tasarım eğrisi, geometrik gerilim yığılmaları ve "artık gerilim"lerin etkilerini içerir. Lineer elastik şartlarda boyutları tesbit edilmiş yüzey ve gölge çatlak boyutlarının akma şartları altında dönüşmüş kalınlık doğrultusundaki çatlak boyutlarına esas alarak çizilmiştir. Kaynaklı yapılara geniş şekilde uygulanmaktadır. Tasarım eğrisinde amaç, kritik hata boyutunu bulma değil, yapıda emniyetle kullanılacak max. hata boyutunu belirleyerek emniyet katsayısını bulmaktır. Uluslararası kaynak enstitüsünce yapılan geniş kaynaklı plaka test sonuçlarının tasarım eğrisiyle değerlendirilmeleri Şekil 6,7,8,9'da görülmektedir. COD testleriyle \bar{a}_{\max} , geniş plaka testleriyle (a_{cr}) çatlak boyutları elde edilerek emniyet katsayıları bulunmuştur.

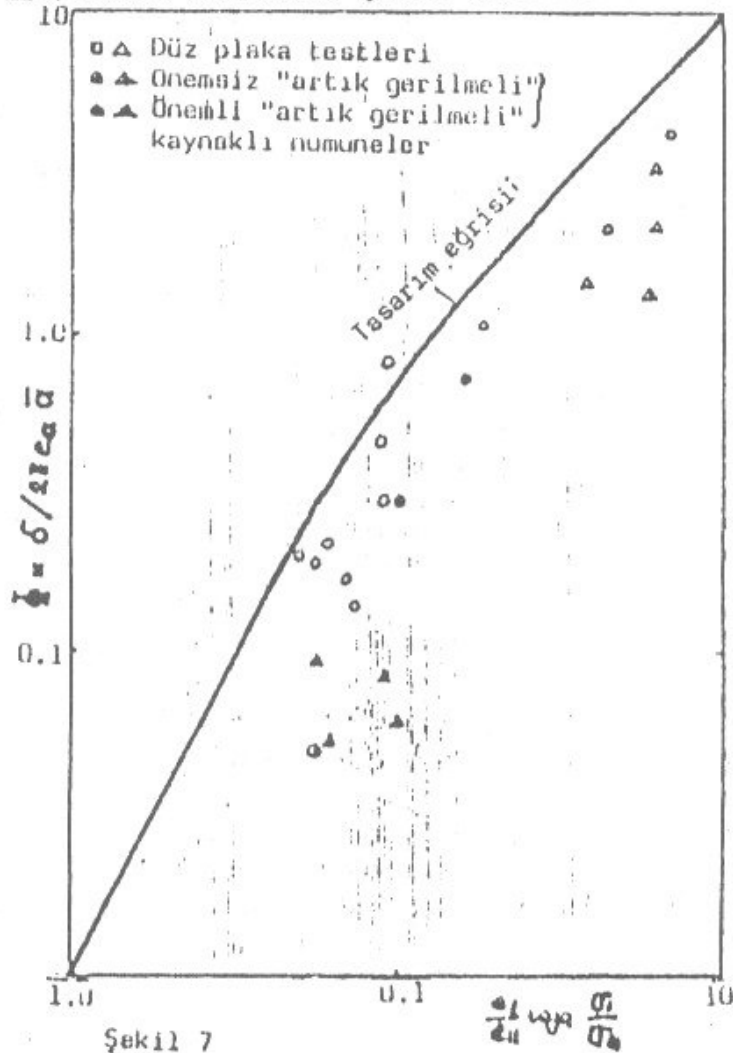
Şekil 6'daki test sonuçlarının dağılımının incelenmesi dikkatlerin "artık gerilme"lerin gevrek kırılma üzerine etkisine yöneltti. Bu amaçla Şekil 7'de görüldüğü gibi kaynaklı düz plaka ve gerilimi alınmış kaynaklı test numunelerin tasarım eğrisiyle değerlendirilmesi yapılmıştır. Kaynaklı test numune sonuçlarının önemli bir bölümü tasarım eğrisinin alt tarafında toplanmıştır. Bunun anlamı; hata veren gerilme değeri, bilinen (ϕ) değerleri için tasarım eğrisinden bulunan gerilme değerinden daha küçük olduğunu belirtir. "Artık gerilme" değerleri önemsiz kaynaklı test numune sonuçları Şekil 8'de, "artık gerilme" değerleri önemli olan kaynaklı test numune sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 9 sonuçları aynı tarama bandı içerisine düşmektedir.

Yapılan istatistikî değerlendirmelerden "artık gerilme" nin mevcut olması halinde yüzey ve kalınlık doğrultusundaki çatlaklar için ortalama emniyet katsayılarında önemli bir fark yoktur. Sadece "artık gerilme" nin varolması halinde yüzey çatlakları için emniyet faktörü yüksektir.

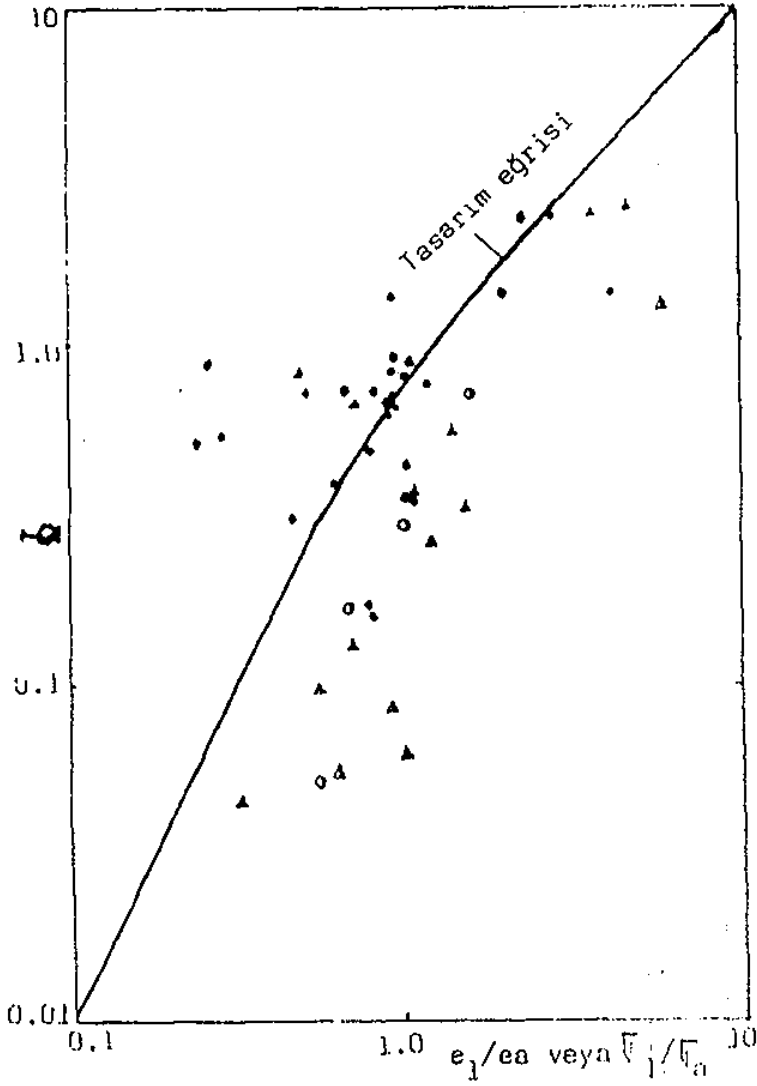
COD Tasarım eğri yaklaşımı değişik şart ve çevrelerde son yıllarda çok uygulanan ve tecrübe kazanılan bir yöntem olmuştur. Kabaca bu tecrübeleri;



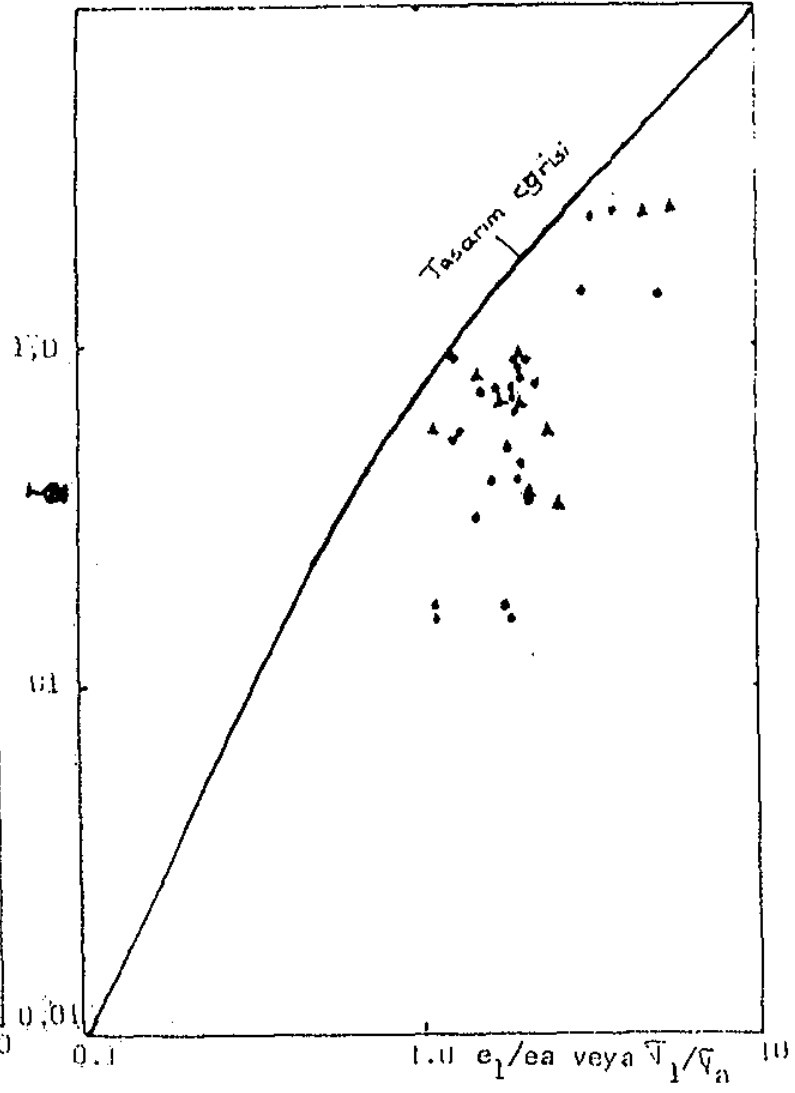
Şekil 6 Emniyet oranlarını ve ihtimal seviyeleri gösteren kritik ve max. müsaade edilebilir çatlak boyutlarının kıyaslanması.



Şekil 7



Şekil 8



Şekil 9

1. Malzeme seçimi (Gerilme ve çatlak boyutu önceden biliniyorsa)
 2. Kaynak hatalarının kabul edilebilir seviyelerde olup olmadığı (Malzeme ve gerilme önceden biliniyorsa)
 3. Müsaade edilecek gerilmeyi bulma (Malzeme ve hata boyutu önceden biliniyorsa)
 4. Hata analizi yapma,
- olarak sıralayabiliriz. (4).

KAYNAKÇA

1. I.ULUSAL KAYNAK SEMPOZYUMU TEbliĞ ÖZETLERİ 13-14-15 Kasım 1984, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gümüşsuyu-İSTANBUL.
2. AKSOY Tevfik "Kırılma Mekaniği", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İZMİR 1984.
3. Methods for Crack Opening displacement (COD) testing, BS5762, 1979.
4. HARRISON J.D "The COD approach and its application to welded structure", Elastic-plastic Fracture ASTM SIP 668, 1979 pp 606-631.